

Klangsynthese-WS-2013

Klang-Definition
Zeitabschnitte eines Klangs
ADSR-MODELL
Oszillatoren/ Prinzip
Grundwellen-Formen
VCA
Filter
Syntheseverfahren
Modulationen
Polyphonie
Zeitliche Abläufe/ Rhythmus

Klang – Synthese

Klang aus der Sicht der Physik

Klang:

Was in der Akustik und Musik als Klang bezeichnet wird, ist in der Physik ein Klanggemisch, bzw. ein Mehrfachklang, ein Geräusch.

Was in der Begriffswelt der Akustik und Musik einfach ein Ton ist, wird in der Physik zwischen reinen/ einfachen Ton (Sinus) und einem einfachen Klang/ harmonischen Klang unterschieden.

Synthese:

In der Elektro-Technik, der Entwurf von Schaltungen/ Schaltkreisen.

Für uns einfach, das Produkt, die Produktion, die Reproduktion.

Die Klangsynthese wird für die Erzeugung sowie Formung und Veränderung von Tönen und von Klängen herangezogen.

Man bedient sich der Klangsynthese um Instrumente oder Geräusche nachzuahmen oder um komplett neue Klänge entstehen zu lassen.

Klang-Definition:

1. Tonhöhe = Grundfrequenz/ Grundton
2. Lautstärke = Amplitude
3. Klangfarbe = Grundton + Oberton + Zeitdauer
4. Zeitverlauf = Zeitliche Veränderung der Tonhöhe, der Lautstärke und der Klangfarbe

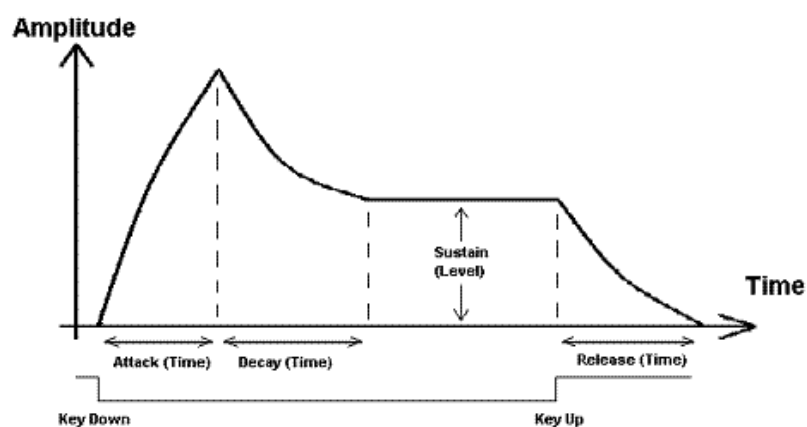
Für jede dieser 4 Eigenschaften gibt es im Modular-Synthesizer ein Modul.

1. Oszillator erzeugt einen Ton und legt die Tonhöhe fest.
2. Verstärker für den Lautstärkeverlauf
3. Die Klangfarbe wird durch das Filter bestimmt.
(wird ebenfalls von Oszillator mitbestimmt)
4. zB. Ein Lfo steuert die Parameter 1 – 3

Zeitabschnitte eines Klangs:

1. **Einschwingen** = Attack-Zeiten/ Transienten
2. **Quasistationärer Klangabschnitt** = mikro Zeitschwankungen (Tremolo, Vibrato, Schwebungen)
3. **Abklingbereich** = Abbau der noch im System befindlichen Energie.

ADSR-Modell (Hüllkurvengenerator)



Attack Amplitude 0 bis max./ 0 Volt bis 10 Volt
Decay Amplitude sinkt von max auf definierten Zwischenpegel
Sustain an die Decay-Phase anschließender Pegel
Release Amplitude sinkt vom Zwischenpegel auf Null

Attack Kondensator wird geladen
Decay Kondensator wird entladen bis auf Sustain-Level
Sustain
Release Kondensator wird vom Sustain-Level bis auf 0 entladen

Release ist vom **Sustain** abhängig. Erhöht man das Sustain-Level, verlängert man die Release-Dauer ohne das sich der Wert für die Release-Phase ändert. Senkt man das Sustainlevel, verlängert man die Decay-Phase.

Re-Trigger Bei kurz aufeinanderfolgenden Trigger-Signalen, zB. Keytaste zweimal kurz hintereinander gedrückt, wird bei eingeschalteter Re-Trigger Funktion, die Attack-Zeit auf 0 zurückgesetzt.

Oszillatoren

Prinzip

Grundwellen-Formen

Oszillator ist begrifflich von oszillieren (schwingen) abgeleitet. Der Oszillator ist sozusagen ein Schwingungserzeuger. Die erzeugte Schwingung nehmen wir als Ton wahr. Gemessen wird die Tonhöhe in Hertz. Oszillatoren für den Audio-Bereich schwingen von ca. 20 bis 20000 Hz.

Die üblichen Schwingungsformen sind Sägezahn, Rechteck, Dreieck, Puls.

Die Ausgangswellenform ist der Sägezahn. Alle anderen Grundwellenformen werden aus dem Sägezahn gewonnen.

Prinzip

Der Kondensator wird langsam aufgeladen und ab prupt durch einen Kurzschluss entladen. In der Zeitlichen Darstellung ergibt dies einen Sägezahn.

Wie schnell der Kondensator aufgeladen wird entspricht der Stärke des Stroms und legt die Tonhöhe fest. Der Ladestrom wird aus einer Spannung gewonnen die zB. Von einem Keyboard kommt.

Die verschiedenen Wellenformen unterscheiden sich durch ihren Obertongehalt. Der Sägezahn zB. klingt hell ähnlich einer Trompete. Das Rechteck zB. Klingt eher hohl.

Das Rechteck wird aus dem Sägezahn gewonnen. Die Form wird bestimmt durch Einschalt-Phase und Ausschalt-Phase. Für die einzelnen Schalt-Phasen dient eine Steuerspannung als Referenz. Sind die Phasen gleichlang, ergibt dies ein symmetrisches Rechteck. Durch Modulation der Phasen bzw. der Breite, entsteht der Eindruck zweier gegeneinander verstimmter Signale anstatt eines Signals.

Diskret/ Integriert

Diskret ist die klassische analoge Bauweise ohne IC`s.

Diese VCO`s sind in der Regel nicht ganz so zuverlässig und stabil wie VCO`s in integrierter Bauweise.

Diese VCO`s klingen aber oftmals dem subjektiven Empfinden nach weniger Steril. Bekannter und häufig verbauter IC ist der CEM 3340 von Doug Curtis.

Noise-Generator

Rauschen/ Noise: weiß – statistisch sind alle Frequenzen gleichleit verteilt
rosa – mit einem Tiefpass mit 3 dB/ Okt. wird abgesenkt

Mischen von Oszillatoren

Bei gleicher Wellenform und phasenungleicher Überlagerung, kommt es zu ungleichmäßigen Auslöschungen.

Bei gleicher Wellenform und phasengleicher Überlagerung, kommt es zu einer Anhebung der Lautstärke um 3 dB.

Um dieses Problem zu lösen, werden die Oszillatoren leicht gegeneinander verstimmt. Es kommt zu einer leichten Schwebung.

!!! Bei Überlegungen zur subtraktiven Synthese, wird der Oszillator als Klangerzeuger regelmäßig unterschätzt. Dabei ist die bauliche Qualität sowie die Komplexität von entscheidender Bedeutung. Daher sollte man bei der Auswahl des Oszillators auf diese Eigenschaften zu achten.

Ringmodulator

Ein Ringmodulator ist ein Multiplizierer.
Frequenz 1 wird mit Frequenz 2 multipliziert.
Wenn zwei sinusförmige Signale multipliziert werden, entstehen zwei neue sinusförmige Signale deren Frequenzen die Summe bzw. die Differenz der Eingangsfrequenzen sind.

VCA/ spannungsgesteuerter Verstärker

Der VCA ist ein spannungsgesteuerter Verstärker der entweder das gesamte Signal durchlässt oder zB. dem zeitlichen Verlauf einer Hüllkurve folgend das Signal abschwächt.

Filter (nichtlinearer Verstärker)

Verstärker leiten im Idealfall alle Frequenzen mit gleicher Verstärkung an den Ausgang.
Der Frequenzgang ist im Idealfall linear.

Eine Filterverstärkung ist für einzelne Frequenzen unterschiedlich.

Kennfrequenz /Cut-off Frequenz

Ab dieser Frequenz ändert sich das Verstärkungsverhalten des Filters.

5 Filterarten

Hochpass: Signalanteile unterhalb der Kennfrequenz werden abgeschwächt.

Tiefpass: Signale oberhalb der Kennfrequenz werden abgeschwächt.

Bandpass: Reihenschaltung aus Hochpass und Tiefpass

Notchfilter: (Kerbfilter), es wird eng um die Kennfrequenz abgeschwächt.

Allpass: Alle Frequenzen gehen durch, nur die Phasenlage ändert sich.

Flankensteilheit

Die Flankensteilheit gibt an wie schnell leise geregelt wird.
Je steiler um so mehr Phasendrehung.

Filtercharakteristiken (Tschebyscheff, Bessel, Butterworth)

Diese unterscheiden sich durch Werte für:

1. Phasenlage
2. relativer Frequenzgang
3. Sprungantwort

Phase

Die **Phase** ist die Richtung in der die Schwingung als erstes ausschlägt. Phasenveränderungen innerhalb eines Klangs werden nicht vom Gehör wahrgenommen. Phasenverschobenes Signal mit dem Original-Signal gemischt ergibt den sogenannten Phaser-Effekt. Mit einem Allpass-Filter kann man Phasen-Drehungen korrigieren.

relative Frequenzgang

Der **relative Frequenzgang** drückt aus, wie gleichmäßig Frequenzen bis zur Kennfrequenz übertragen werden und wie abrupt der Abfall nach der Kennfrequenz beginnt.

Sprungantwort

Die Schaltung folgt dem Spannungswechsel nicht sofort, sondern verzögert. Sie geht über das Ziel hinaus und stellt sich erst nach mehreren Nachschwingungen auf den neuen Wert ein.

Durch Rückkopplungen wird die Charakteristik des Filters geregelt. Den Ausgang invertiert auf den Eingang legen entspricht der Bessel Filtercharakteristik. Je mehr Resonanz, um so mehr verändert sich die Filtercharakteristik von Bessel über Butterworth zu Tschebyscheff.

Filtertracking

Die vom Keyboard bestimmte Tonhöhe entspricht 1 zu 1 der Filter-Kennfrequenz.

Unterschiede zwischen Linear/ Logarithmisch

Das Gehör nimmt Tonhöhen und Lautstärke Änderungen logarithmisch wahr. Die logarithmische Änderung der Tonhöhe und der Lautstärke wird als linear empfunden. Steuersignale in einem Synthesizer sind linear.

Syntheseverfahren

Spektrale Synthesemodelle

Additive Synthese

Nach den Prinzipien der Fourier-Analyse

Die additive Synthese basiert auf der Überlagerung von Sinus Schwingungen. Für komplexe Klänge benötigt man eine große Anzahl von Oszillatoren. Bei jeden der Oszillatoren sollte die Frequenz, die Amplitude und die Phasenlage kontrollierbar sein.

Für jeden Oszillator muss eine eigene Hüllkurve vorhanden sein.

Für eine realistische Nachbildung natürlicher Töne muss eine sehr große Zahl an Parametern kontrolliert werden.

Der Vorteil der additiven Synthese, den direkten Zugriff auf alle Teilschwingungen und die daraus resultierende Flexibilität der Klanggestaltung erweist sich durch den enormen Aufwand wiederum als eher schwierig in Praxis.

Ausnahmefall der Spektral Synthese, Quellen – Filter – Modell

Subtraktive Synthese

Grundwellen Formen werden von einem Oszillator erzeugt und mit einem Filter wird anschließend das Obertonspektrum bearbeitet. Dabei wird das Frequenz-Spektrum verformt.

Die Lautstärke wird mit einem gesteuerten Verstärker kontrolliert.

Die klassische Synthesestruktur wäre VCO – VCF – VCA.

Dabei ist es eigentlich egal ob das Filter vor oder nach dem Verstärker kommt.

VCA nach dem Filter reduziert praktischer weise das Rauschen.

Diese wie hier beschriebene sehr vereinfachte Form der subtraktiven Synthese kommt in den meisten analogen und digitalen VA – Synthesizern zur Anwendung.

Dies ist meistens ausreichend um eine große Zahl von interessanten Klängen erzeugen zu können. Allerdings ist es nur sehr begrenzt möglich natürliche Instrumente und Geräusche nach zu bilden.

Abstrakte Synthesemodelle

FM-Synthese

Bei der Frequenz Modulation moduliert pegelabhängig die Frequenz eines Oszillators (Modulator), die Frequenz eines weiteren Oszillators (Träger).

Durch die Stärke der Modulation und dem Frequenz Verhältnis der beiden Oszillatoren zueinander, ist ein sehr große Klangspektrum möglich.

Jeder Osc hat eine eigene Hüllkurve und einen Verstärker.

Würde man die Oszillatoren parallel schalten, hätte man die additive Synthese mit recht wenig Oszillatoren.

Die ursprüngliche Wellenform ist Sinus.

Physikalische Synthesemodelle

Physical Modeling

Hier wird im Gegensatz zu allen anderen Syntheseformen, die Klangentstehung und nicht der Klang selbst nachgebildet.

Simple Synthesizer

1. Vco (spannungsgesteuerter Oszillator)
2. Vca (spannungsgesteuerter Verstärker),
der im Signalweg dem Vco folgt
3. Kb (Keyboard), liefert eine Gate-Spannung zum Öffnen des VCA's,
sowie eine Steuerspannung zur Bestimmung der
Tonhöhe des Vco's

Zusammenfassung

Subtraktive Synthese

Klassische Synthesearchitektur

Quellen – Filter – Modell

Vco – Vcf – Vca
ADSR (Hüllkurve)

1. Filter für Gestaltung der Klangfarbe
2. Hüllkurve für den zeitlichen Verlauf des Klangs
3. Oszillator für die Bereitstellung verschiedener Wellenformen
(Schwingungsformen) als rohes Ausgangsmaterial.

Modulation

Es gibt im wesentlichen 3 Modulationsarten:

Amplitudenmodulation

Veränderung der Lautstärke durch einen aufmodulierten Träger

Frequenzmodulation

Veränderung der Tonhöhe durch einen aufmodulierten Träger

Spektralmodulation

Veränderung der Klangfarbe durch einen aufmodulierten Träger

Möglichkeiten für Modulationen

- Crossmodulation -

Bei einer Crossmodulation (Kreuzmodulation), modulieren sich zwei Oszillatoren gegenseitig. (siehe Frequenzmodulation)

Bei der Cross-Modulation ist die Modulationquelle ein VCO. Der VCO stellt eine dynamische Modulationquelle dar. VCO1 als Modulator für VCO2 wird dadurch dass er am CV-EINGANG von VCO2 angeschlossen ist, mit hörbar.

- Waveshaping -

Bei Waveshaping wird eine Wellenform durch eine feste oder frei erstellbare Kennlinie (zB. Eine andere Wellenform) verbogen, nicht verzerrt.

Oszillator-Synchronisation

Osc1 zwingt Osc2 seinen Nulldurchgang abhängig von Frequenz und Position von Osc2 auf. Die Tonhöhe bestimmt Osc1. Wird die Tonhöhe von Osc2 verändert, ändert sich die Klangfarbe. Bei oktavierter Verstimmung ändert sich die Klangfarbe nicht. Ein Lfo kann zB. Neu gestartet werden.

Die Nulldurchgänge der einzelnen Schwingungen werden zwischen Master-Oszillator und Slave-Oszillator gleichgeschaltet. Bei gleicher Tonhöhe der beiden Oszillatoren, gibt es keine Schwebungen. Dies nutzt man für harte durchsetzungsfähige Bässe oder Lead-Sounds. Liegt der Slave in seiner Tonhöhe in einem bestimmten Verhältnis (zB. Oktave), über dem Master, so verstärkt er dessen Obertöne. Ein klanglich verstärkter Oszillator ohne Schwebungen.

Soft-Sync bringt weniger weitreichende Klangänderungen hervor als **Hard-Sync**.

Soft-Sync verwendet man, um mehrere Oszillatoren in bestimmte Frequenzverhältnissen zu einander zu stimmen.

Hard-Sync wird eher für typische Lead-Sounds verwendet.

Ein Klang besteht aus Grundton + Obertöne.

Die Obertöne stehen in einem bestimmten Verhältnis (Oktave, Quinte, Quarte,...) zum Grundton. Sie sind leiser als der Grundton. Anzahl und Lautstärke der Obertöne bestimmen unter anderem den Klang.

Obertöne werden bei einer Oszillator-Synchronisation verstärkt. Dies führt zum typischen kreischendem Klangcharakter dem man bei Oszillator-Synchronisation erwartet.

VCO als Modulator

Externen VCO an den VCF CV-EINGANG (Pedal In) anschließen. Damit haben wir schon die Filter-FM. Bei manchen analogen und digitalen Synthesizern lässt der CV-EINGANG nur langsame Modulationen zu. VCA-Modulation mit einem VCO am CV-EINGANG des VCA's.

Pulsbreitenmodulation – PWM (Pulse-Width-Modulation)

Verschiebung der Pulsweite durch eine Modulationquelle. Bei starker periodischer Modulation durch z.B. ein LFO, kommt es zu einem „Schwebungseffekt“. Eine unmodulierte Pulswelle von 50/50% hat aufgrund fehlender Obertöne einen etwas hohlen Klangcharakter. Bei Modulation verändert man das Verhältnis der Obertöne und somit die Klangfarbe. Der Klang wird zunehmend nasaler und dünner.

Manuelle Pulsbreiten Modulation – PW- (Pulse-Width)

Bei einer manuellen Einstellung von 0 oder 100% ist die Pulswelle komplett ausgedünnt.

Frequenz Modulation

Die Modulation der Frequenz des Oszillators durch verschiedene Modulationsquellen wobei die einfachste Variante das Spiel auf einem angeschlossenen Keyboard wäre. Das Spiel einer Melodie auf dem Keyboard ändert die Tonhöhe bzw. die Frequenz des Oszillators (Frequenz Modulation). FM durch eine Hüllkurve erzeugt einmaligen Anstieg und Abfall der Tonhöhe. (Simulation des 303 Glide-Effekts)

Weitere Begriffe

Digitale Filter:	es werden mindesten zwei aufeinanderfolgende Samplepunkte mit einander verrechnet verrechnet werden der aktuelle Wert aus den Oszillator mit seinem vorherigen Wert Wert 1 + Wert 2 dividiert durch 2 Spitzenbildung im Signallauf wird verringert, wodurch es zur einer Reduktions der Obertöne, ähnlich eines Tiefpasses, kommt
Formanten:	Formanten sind typische Resonanzen im Frequenz-Spektrum bei einem Instrument und einer menschlichen Stimme Formanten liegen im Bereich von 200Hz bis 2- 3,5KHz Erhöhungen im bestimmten Frequenzbereichen die konstant bleiben
Frequenz:	periodische Schwingung 1 Periode (Periodendauern) in Sek = 1Hz Frequenz = 1Hz = 1 Periode/ 1Sek

Polyphonie

Oszillator-Schichtung (Stacking)

Einfach eine bestimmte Anzahl von Oszillatoren schichten, die entweder gemeinsam oder einzeln gesteuert werden können.

Mit nur einem Oszillator, einstimmiger Ansatz zur Polyphonie, Mehrstimmigkeit im musikalischen Sinne durch Schichtung von mehreren Melodie-Linien schaffen.

Ein VCO Reicht völlig aus für „echte “ Polyphonie.
(Tape Delay/ Mehrspur-Aufnahmen)

Polyphonie als Gleichklang (Homophonie)

Die Melodie-Linie (zB. Gesang) führt, alle anderen Begleitinstrumente sind untergeordnet.

Melodie (zB. Gesang) und Instrumente müssen den selben Rhythmus haben.
Gleichzeitig gespielte Akkorde erklingen homophon.

Polyphone Musik beginnt bei einer Stimme!

Zeit

-Zeitliche Abläufe/ Rhythmus-

Es gibt kein Falsch im Wesen des Rhythmus. Alles fließt und wiederholt sich eben nicht exakt gleich. Komplexere Rhythmen erlangt man durch polyrhythmische Überlagerung verschiedener Rhythmen.

Die Zeit ist vielleicht der wichtigste Parameter für die Erstellung verschiedenster Klänge. Die Zeit unterliegt nicht so strenger Vorgaben wie die Tonhöhe die bestimmten Regeln zu folgen hat, und lässt dadurch ein sehr hohes Mass an Kreativität zu.

LFO`s, Sequenzer, Hüllkurven, Gate, Trigger und Clock Module

VC-ADSR – Steuerung des Decay Parameter durch einen Sequenzer für ein lebendigeres Spiel.

Einsatzgebiete für die **Hüllkurve** neben den der Steuerung des VCA zur Lautstärke oder die Steuerung der Kennfrequenz des Filters, wäre zB. ein **Auto- Bend**. Eine Tonhöhenbiegung nicht unähnlich eines Glide-Effekts.

Die Steuerung der **LFO-Rate** durch eine **Hüllkurve** oder die Tonhöhensteuerung des Keyboards zur Steuerung der Decay-Zeiten eines VC-ADSR-Hüllkurvengenerator, sind zwei von vielen Möglichkeiten zur Steuerung zeitlicher Abläufe. (Envelope Key-Follow zB.)

Wenn die Abklingzeiten mit zunehmender Tonhöhe kürzer werden, hat dies einen akustisch natürlich wirkenden Effekt.

LFO

LFO`s werden meistens für Vibrati/ Tremelo/ Filter-Sweep oder Anblas-Effekte benutzt.

Meistens werden dafür die Wellenformen Sinus oder Dreieck verwendet. Mit einer Rechteckwelle kann zB. Tonhöhen sprünge ähnlich einem simplen Arpeggio erzeugen. Mit einem Inverter könnte man zusätzlich eine Gegenbewegung für das Filter (zB. Filter schließen) erzeugen.

Ein klassischer LFO (Niederfrequenz-Oszillator), hat einen Frequenzbereich von 0,01 Hz bis 20 Hz.

LFO als Gate für rhythmische Steuerung.

Sequenzer

Sequenzer werden für Modulation und für Zeitliche Strukturierung verwendet.